

16. Томилов В.В., Управление качеством продукции энергосистем. / Томилов В.В., Голубкова Р.Р., Еловенко В.Г. – СПб.: Изд.-во СПбГУЭФ, 2000. С.30 – 31.

17. European standard EN 50160 Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, CENELEC TC 8X, 2006. NRS-048-2, Electricity Supply – Quality of Supply Part 2: Voltage characteristics, compatibility levels, limits and assessment methods.

Стаття надійшла до редакції 23.03.2015 р.

УДК 550.34.01, 622.235.535

В. А. Лемешко, инж., **В. В. Бойко**, д.т.н., **А. А. Кузьменко**, к.т.н., **Д. В. Хлевнюк**, аспирант (Институт гидромеханики НАН Украины)

ДИСКРЕТИЗАЦИЯ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА ОТ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА СМ-3 ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ВЗРЫВА

V. A. Lemeshko, V. V. Boiko, A. A. Kuzmenko, D. V. Khlevniuk (Institute of Hydromechanics of NAS Ukraine)

SAMPLING ANALOG SIGNAL FROM A SEISMIC RECEIVER SM-3 DURING THE INDUSTRIAL EXPLOSION

Досліджена дискретизація аналогового сигналу, який був отриманий від сейсмічного приймача СМ-3 при проведенні промислового вибуху. Показані результати фільтрації цього сигналу.

Ключові слова: дискретизація, сейсмічний датчик, промисловий вибух, цифровий фільтр.

Исследована дискретизация аналогового сигнала, полученного от сейсмического приемника СМ-3 при проведении промышленного взрыва. Показаны результаты фильтрации этого сигнала.

Ключевые слова: дискретизация, сейсмический датчик, промышленный взрыв, цифровой фильтр.

The discrete of analog signal from seismic sensor SM-3 in time of industrial explosion is investigated. The results of filter this signal is showed.

Keyword: discrete of time, seismic sensor, industrial explosion, digital filter.

Введение. Плотная застройка территории Украины, большое количество карьеров и постоянное стремление к повышению мощности массовых взрывов – вот основные предпосылки работ по увеличению точности результатов сейсмических замеров, ибо по ним, в конечном итоге, рассчитываются

мощности зарядов и схемы их взрывания. В тоже время, постоянное увеличение стоимости буровзрывных работ (БВР) приводит к увеличению мощности взрывов в карьерах. Кроме этого, разброс времени срабатывания неэлектрических систем взрывания иногда приводит к незапланированному времени инициирования смежных скважинных зарядов, что, в свою очередь, ведет к наложениям сейсмических колебаний. С другой стороны, развитие цифровой и вычислительной техники повышает точность и оперативность получения и обработки осциллограмм. Таким образом, можно сделать вывод об актуальности и необходимости работ по оптимизации БВР, а значит, и по развитию методов и средств контроля сейсмических колебаний.

В [1] подняты проблемы создания аппаратуры для сейсмических наблюдений, в частности, подняты вопросы дискретизации и фоновых помех при измерении сигнала, проходящего через нелинейную среду, что, в свою очередь, приводит к появлению кратных частот. Вопросы численной коррекции сейсмограмм рассмотрены в [2]. В этой работе авторов интересовал сигнал в диапазоне от 0.01 до 10 Гц, и цель работы была в расширении частотного диапазона в направлении низких частот, что характерно для изучения землетрясений. Причем, если рассмотреть описание экспериментальных результатов, то можно отметить, что в первом эксперименте (два датчика СМ-3 и два геофона GS-20DX установлены в подвале здания ИДГ РАН) дискретизация реализации была выбрана 100 Гц при длительности записи 15 мин. Во втором эксперименте два датчика (СМ-3 и GS-20DX) были установлены на постаменте и регистрация велась на трехканальную сеймостанцию "ТИМ" с частотой опроса 200 Гц. Отметим, что в паспортных данных приемника СМ-3 указан рабочий диапазон частот от 0.5 до 50 Гц, а при изучении воздействий от промышленных взрывов, нас интересует сигнал во всем рабочем диапазоне частот.

В [3] авторами построена шкала интенсивности сейсмических волн в зависимости от периода собственных колебаний сооружений T_0 и декремента затухания λ . Подсчитаем частоту колебаний грунта возле сооружения, используя данные этой таблицы. Из таблицы: $T/T_0 = 0.0625$, где: T – период колебаний грунта, с; T_0 – период собственных колебания сооружения, с.

Тогда $T = 0.0625 \cdot T_0$, причем значения T_0 из этого источника [3] составляют 0.2, 0.3 и 0.4 (с). Таким образом: $T = 0.0625 \cdot T_0 = 0.0625 \cdot 0.2 = 0.0125$ (с), что соответствует $f = 1/T = 80$ (Гц). В случае $T_0 = 0.4$, $f = 40$ Гц.

Достаточна ли для регистрации этих процессов дискретизация 100 или 200 Гц?

Цель работы - исследование выбора дискретизации сигнала и построения схемы его дальнейшей обработки.

Результаты исследования. Известно, что для сигнала с наивысшей частотой f_c необходима большая частота следования значений выборки, чем частота Найквиста ($2 \cdot f_c$) [4]. С другой стороны известно, что для передачи синусоиды без искажений число точек N в интервале от 0 до 2π должно быть не менее 26 [5]. Тогда шаг дискретизации dt будет равен: $dt = 1/(N \cdot f_c) = 1/(26 \cdot 50) = 0.00076$ (с)

Учитывая развитие вычислительной техники и ее стандарты, выбираем $dt = 0.0005\text{с}$, что будет соответствовать частоте опроса $f = 2\text{КГц}$.

На рис.1 представлено семейство осциллограмм, полученное при помощи датчиков СМ-3 и аналого-цифрового преобразователя Е14-440 с дискретностью выборки $dt = 0.0005\text{с}$ во время промышленного взрыва в Ракитнянском карьере гранитов 30.07.2014 года.

Кроме этих датчиков в точке “0” (возле жилого дома) был установлен автономный комплекс MiniMate Plus, укомплектованный трех координатным геофоном со следующими характеристиками: разрешение - 0.127мм/с ; дискретизация 4096 опросов в сек. Кроме этого, комплекс укомплектован фильтром низких частот, т.е. подавляются высокие частоты. На рис.2 представлены осциллограммы, полученные при помощи этого комплекса.

Сравним осциллограммы на рис. 1 и 2. На осциллограммах, представленных на рис.1, явно присутствуют высокочастотные составляющие, что подтверждается спектральным анализом для этих осциллограмм (рис.3). Второе отличие – это увеличенное значение амплитуд скоростей на рис.1 по сравнению с рис.2, что может быть объяснено наложением высокочастотных сигналов на низкочастотные.

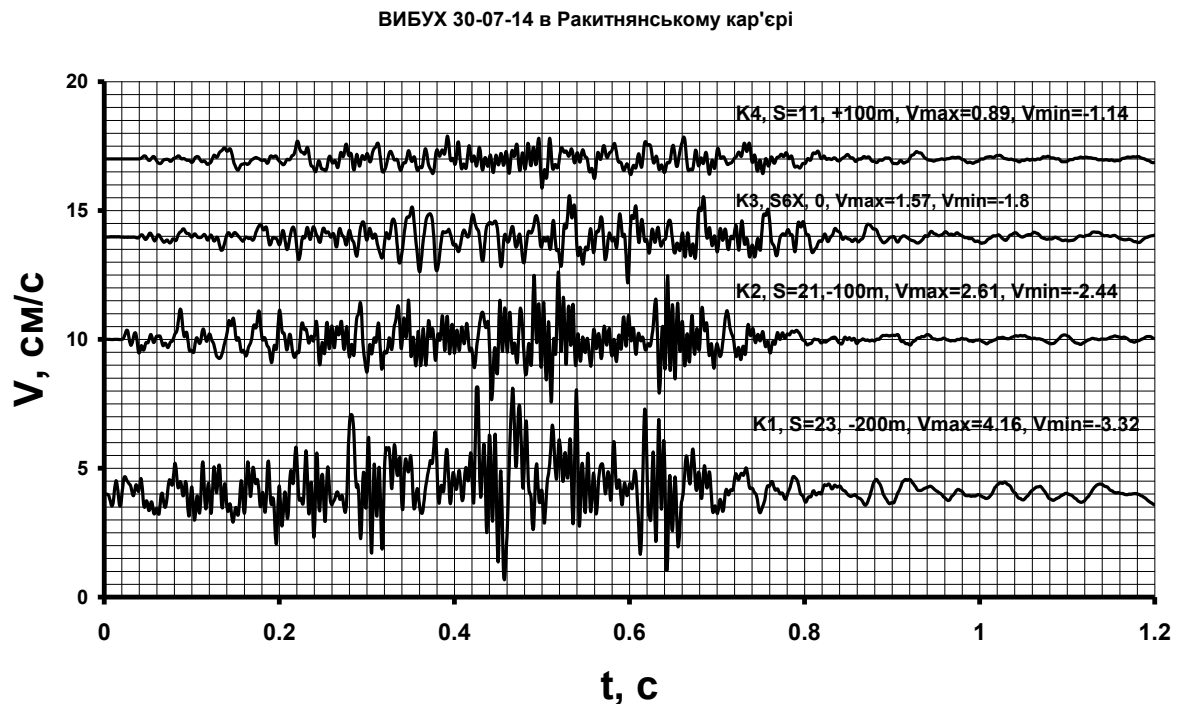


Рис. 1. Семейство осциллограмм промышленного взрыва 30-07-2014.

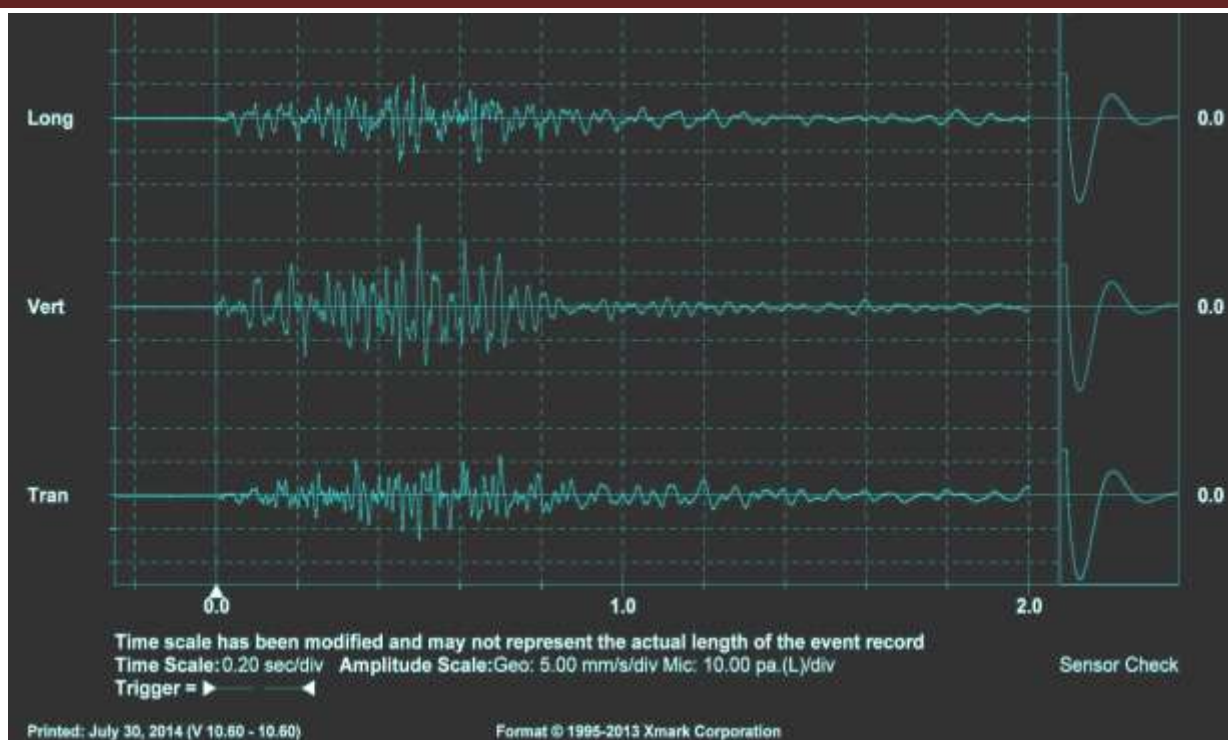
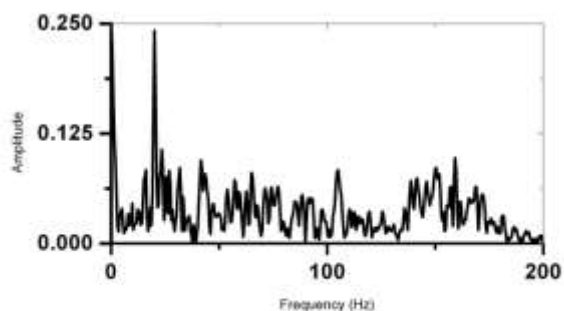
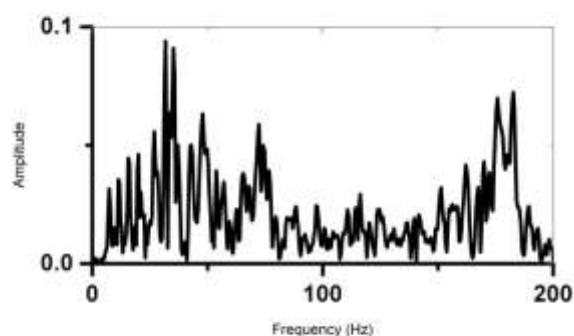


Рис. 2. Осциллограммы, полученные при помощи комплекса **MiniMate Plus**, установленного в точке “0” во время промышленного взрыва в Ракитнянском карьере 30 июля 2014 года

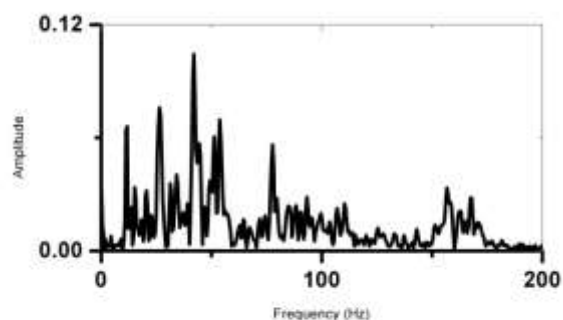
Проведем фильтрацию сигналов от датчика СМ-3, установленного в точке “0” (рис.1). В качестве частоты среза, т.е. граничной частоты будем выбирать соответственно частоты 100, 50, 25 и 12 (Гц). Результаты представлены на рис.4.



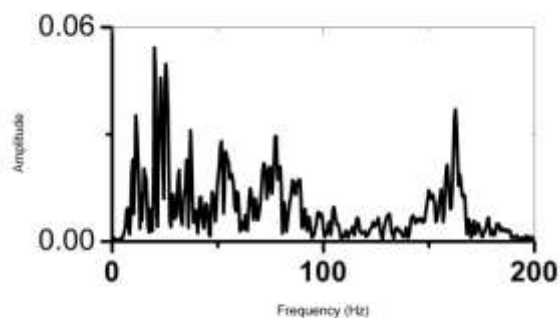
а) датчик S=23



б) датчик S=21



в) датчик S=6X



г) датчик S=11

Рис. 3. Спектральный анализ осциллограмм (рис.1)

Нетрудно заметить, как уменьшаются значения одного и того же сигнала в зависимости от граничной частоты фильтра.

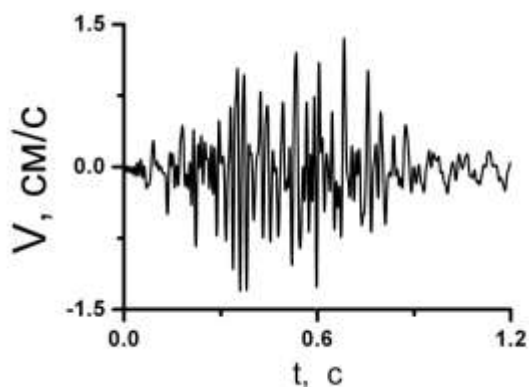
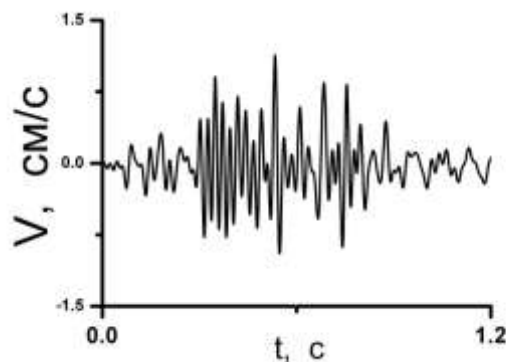
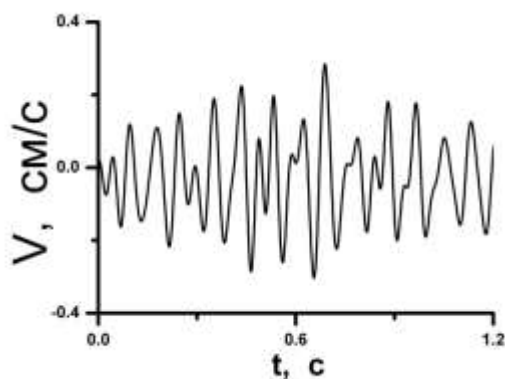
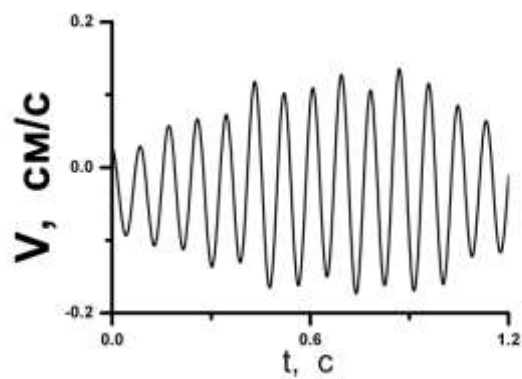
а) $f_c = 100$ Гцб) $f_c = 50$ Гцв) $f_c = 25$ Гцг) $f_c = 12$ Гц

Рис. 4. Фильтрация сигнала от датчика S=6X

С нашей точки зрения задавать частоту фильтрации выше 50 Гц не имеет смысла, поскольку датчик СМ-3 предназначен для работы в частотном диапазоне от 0.5 до 50 Гц. С другой стороны, может быть целесообразно, анализируя воздействия от промышленных взрывов на охраняемый объект, ограничивать частоту фильтрации в зависимости от частоты собственных колебаний охраняемого объекта? И тогда принимать решение о допустимости взрыва в соответствии с упомянутой выше таблицей.

Каким образом развитие средств контроля сейсмических колебаний, в т.ч. и точность обработки осциллограмм, влияет на оптимизацию ведения БВР покажем на примере анализа результатов сейсмометрических измерений параметров сейсмозрывных волн (СВВ) упоминающегося выше массового взрыва (МВ) в Ракитнянском карьере 30.07.14 г. Проанализируем осциллограмму, полученную в точке “0” в основании фундамента кирпичного одноэтажного жилого дома, имеющего трещины в несущих стенах и углах здания.

Критерием сейсмической безопасности зданий и сооружений, который обеспечивает их сохранность во время ВР, является допустимая скорость сейсмических колебаний грунта в основании их фундамента (u_0 , см/с), которая согласно табл.4 ДСТУ-П 4704: 2006 [7] без учета частотных характеристик сейсмической волны и охраняемого объекта для рассматриваемого здания равна 1 см/с.

Определить истинное движение грунта из непосредственной записи сейсмических колебаний при КЗВ МВ практически невозможно, т.к. в результате распространения различных типов волн возникают интерференционные явления, высокочастотные колебания накладываются на низкочастотные и сейсмический сигнал совсем не напоминает синусоидальное движение, а о видимом периоде колебаний не может быть и речи (рис.1). Искращения в запись вносит и регистрирующая аппаратура, если последняя не соответствует составу колебательного процесса.

Как уже было сказано выше, сейсмоприемники СМ-3, применяемые в данном случае, имеют рабочий диапазон частот от 0.5 до 50 Гц, а в волновом процессе (рис. 3) присутствуют колебания до 200Гц и это сказывается на качестве записи. В подобных случаях необходимо применять фильтрацию сигнала, что нами и было сделано (рис.4).

Проанализируем результаты фильтрации на частоте 50Гц (рис.4-б). Настоящая запись получена от сейсмоприемника, установленного в основании рассматриваемого здания. Из полученной после фильтрации записи можно довольно четко определить, что период колебания грунта с максимальной амплитудой 1.2 см/с соответствует 0.03 с. Чтобы определить допустимую скорость колебаний для рассматриваемого жилого здания (см/с) с учетом частотных характеристик системы “грунт-здание” в соответствии с формулой (6) ДСТУ 7115:2009 [8] есть все необходимые данные.

$$U_{don} = U_o \frac{T_o^2}{T_{cm}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi \lambda_o \cdot U_{3d}}}, \text{ где:}$$

U_o – допустимая скорость колебания грунта в основании здания ($U_o = 1 \text{ см/с}$); T_o – период собственных колебаний здания (табличные данные 0.3 с); T_{cm} – период колебаний стандартного маятника (паспортные данные 0.25 с); λ_o – логарифмический декремент затухания здания (табличные данные 0.3); U_{3d} – амплитудно-частотная характеристика системы “грунт-здание”:

$$U_{3d} = \left[\left(1 - \frac{T^2}{T_o^2} \right)^2 + \frac{4\lambda_o^2}{\pi^2 + \lambda_o^2} \cdot \frac{T^2}{T_o^2} \right]^{-1/2}, \text{ где:}$$

T – период колебаний грунта, с.

В результате расчетов получим $U_{don} = 1.84 \text{ см/с}$, что говорит о том, что если частотные характеристики грунта и здания далеки от резонансной области колебаний, то их взаимодействие очень незначительное и критерий сейсмобезопасности может повышаться. Преобразовав формулу Садовского к виду:

$$Q_{\ddot{a}ir} = \left(\frac{U_{\ddot{a}ir}}{K} \right)^{3/n} \cdot r^3, \text{ где:}$$

Q_{don} – допустимая масса ВВ на одну ступень замедления при КЗВ, кг, n – коэффициент затухания волны, можно определить зависимость массы заряда от расстояния и U_{don} (таблица). Данные таблицы показывают, что при однозначных величинах критериев сейсмобезопасности возникают ситуации, когда невозможно варьировать массой заряда (например, при массе одного скважинного заряда 110 кг), а это сдерживает эффективность производства. Тогда как при использовании фильтрации появляется возможность более точно и в полном объеме обработать осциллограммы и в зависимости от частоты СВВ разработать рекомендации, позволяющие эффективно вести ВР.

Таблица 1. Допустимая масса зарядов ВВ при КЗВ

Расстояние до охраняемого здания, м		300	350	400	450	500
Допустимая масса заряда, кг	$U_o = 1 \text{ см/с}$	85	135	200	280	400
	$U_{доп} = 1.84 \text{ см/с}$	430	680	1000	1450	2000

Выводы

1. Показано, что дискретизация сейсмозрывной волны должна быть порядка 0.0005с
2. Во избежание наложения высокочастотных колебаний и, соответственно, увеличения значений сигнала, необходимо отфильтровывать из него высокочастотную составляющую.
3. Граничная частота фильтрации не должна превышать указанную в паспорте на сейсмоприемник величину.
4. Для анализа влияния сейсмозрывной волны на охраняемый объект целесообразно проводить дополнительную фильтрацию.

Список использованных источников

1. Николаев А.В. Заметки на полях /Сб. научн.трудов ИДГ РАН. – 2012, вып.3.С.172-175.
2. Беседина А.Н. , Кабыченко Н.В., Кочарян Г.Г., Павлов Д.В. Численная коррекция сейсмограмм и шумы измерительного канала. /Сб. научн.трудов ИДГ РАН. – 2011, вып.2.С.100-107.
3. Бойко В.В., Кузьменко А.А., Хлевнюк Т.В. Оценка сейсмобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик.//Вісник НТУУ “КПІ”. Серія “Гірництво”: Зб.наук. праць. – К.: НТУУ “КПІ”. - 2008. – Вип.16. – С.3-13.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных – М.:Мир, 1989. – 540с.
5. Учи Г. Персональные компьютеры для научных работников – М.:Мир, 1990. – 268с.
6. Руководство по эксплуатации Mini Mate Plus. Версия программного обеспечения 4.3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.instantel.com
7. Правила проведення гірничих вибухів. Норми безпечності сейсмічних коливань ґрунту: ДСТУ-П 4704: 2006. – К.: Держспоживстандарт України, 2007, 9с. – (Національний стандарт України).
8. Вибухи промислові, методи визначення фактичної сейсмостійкості будівель і споруд: ДСТУ 7116: 2009. – К.: Держспоживстандарт України, 2010, 6с. – (Національний стандарт України).

Статья поступила в редакцию 22.01.2015 р.